



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LEENA JARKKO
KOKOONPANOSUUNNITTELUN OPETUKSEN KEHITTÄMINEN
INSINÖÖRIKOULUTUKSESSA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: diplomi-insinööri Mikko
Vanhatalo

TIIVISTELMÄ

LEENA JARKKO: Kokoonpanosuunnittelun opetuksen kehittäminen insinööriskoulutuksessa

Improving the teaching of assembly planning in engineering education

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 24 sivua, 0 liitesivua

Kesäkuu 2018

Teknisten tieteiden kandidaatin tutkinto-ohjelma, konetekniikka

Pääaine: Konstruktitekniikka

Tarkastaja: diplomi-insinööri Mikko Vanhatalo

Avainsanat: kokoonpanosuunnittelu, koneenrakennus, koneensuunnittelu, kokoonpano, insinööriskoulutus, työturvallisuus

Kokoonpanosuunnittelu on yksi koneensuunnittelijoiden työtehtävistä. Työn tavoitteena oli tutkia kokoonpanosuunnitteluun liittyviä haasteita koneensuunnittelijan ja insinööriskoulutuksen näkökulmista. Työssä käydään läpi tekijöitä, jotka suunnittelijan olisi hyvä ottaa huomioon kokoonpanosuunnittelua tehdessään. Kokoonpantavuuden tarkoituksenmukainen suunnittelu säästää aikaa tuotteen kokoonpanovaiheessa merkittävästi, vaikka lisääkin tuotteen suunnitteluvaiheen kestoa. Tuotteiden kokoonpantavuuteen liittyen osien ja kokoonpanojen geometrian ja tekniikan lisäksi tärkeäksi tekijäksi nousivat ihmiskeskeiset tekijät, kuten työturvallisuus. Työssä esitellään myös muutamia keinoja hyödyntää tietotekniikkaa kokoonpanosuunnittelun apuna.

Työssä päädytään tulokseen, että insinööriopetusta kehittäessä pitäisi erityisen suurta huomiota kiinnittää eri ammattiryhmien väliseen kommunikaatioon. Insinööriskoulutuksessa yhteistyö usein tapahtuu vain yritysten ja muiden korkeakoulujen välillä, mutta toimivan kokoonpanosuunnittelun näkökulmasta olisi erittäin tärkeää lisätä yhteistyötä myös ammatillisten oppilaitosten ja kokoonpanotyöntekijöiden kanssa.

ALKUSANAT

Kandiksi valmistuminen on ollut pitkä ja kivinen tie. Tämä kandidaatintyö on valmistunut hien, veren ja kyynelien avustuksella ja sen suurin ansio on lähinnä se, että se on valmis. Erityiset kiitokset tästä prosessista on annettava ohjaajalleni Mikko Vanhatalolle, joka jaksoi muutaman vuoden ajan muistutella työn tekemisestä ja jaksoi työn loppurutistuksen aikana kommentoida työtä, vaikka se olikin aivan levällään. Vaikka aihe muuttuikin radikaalista prosessin loppumetreillä, olen melko tyytyväinen siihen, mitä tämä työ lopulta käsittelee.

Omista virheistä oppineena voinkin todeta, ettei kandidaatintyön tekeminen viimeisen illan tai viikon ihmeenä ole suositeltavaa. Nyt, kun projekti on ohi, olen huomattavasti tietoisempi siitä, miten koko projekti olisi pitänyt hoitaa. On kuitenkin muistettava, että valmis kandi on paras kandi. Tämän kirjoitusprosessin innoittamana olen valmis taklaamaan diplomityöni loppurutistuksen. Nyt viimeistään tiedän, että sitä hommaa ei kannata jättää viimeiseen viikkoon.

Tampereella, 9.6.2018

Leena Jarkko

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | JOHDANTO | 1 |
| 2. | KOKOONPANTAVUUDEN SUUNNITTELU | 4 |
| 2.1 | Osien muotoilu, kohdistus ja paikoitus | 6 |
| 2.2 | Työvaiheiden minimointi | 7 |
| 2.2.1 | Modulointi | 7 |
| 2.2.2 | Osakokoonpanot | 8 |
| 2.2.3 | Työasemien suunnittelu | 9 |
| 2.3 | Kokoonpantavuus huoltotoimenpiteissä | 10 |
| 2.4 | Kokoonpanosuunnittelun haasteet | 10 |
| 2.4.1 | Käytössä olevat resurssit | 10 |
| 2.4.2 | Tuotteelle asetetut vaatimukset | 11 |
| 3. | TYÖTURVALLISUUS | 12 |
| 3.1 | Osien ja kokoonpanojen muotoilu ja työohjeet | 12 |
| 3.2 | Nostot ja siirrot | 12 |
| 4. | KONE VS IHMINEN | 14 |
| 4.1 | Tietokoneavusteinen suunnittelu | 14 |
| 4.2 | Virtuaalinen suunnittelu ja kokoonpano | 14 |
| 4.3 | Automaatio ihmisen korvaajana | 15 |
| 5. | KOULUTUS JA TIETOTAITO | 17 |
| 5.1 | Eri koulutusten profiilit | 17 |
| 5.2 | Insinöörikoulutuksen kehittäminen | 18 |
| 6. | YHTEENVETO | 21 |
| | LÄHTEET | 23 |

KUVALUETTELO

| | |
|---|-----------|
| <i>Kuva 1. Kokoonpanoon vaikuttavia tekijöitä [1]</i> | <i>2</i> |
| <i>Kuva 2. Yrityksen eri toimintojen vaikutusosuus tuotteen kokonaiskustannuksiin [2]</i> | <i>4</i> |
| <i>Kuva 3. Tuote- ja prosessisuunnittelun yhdistävä näkökulma (Fig. 1.1 An integrated perspective of product and process design), käännetty lähteestä [3]</i> | <i>5</i> |
| <i>Kuva 4. Tuotteen konfigurointi moduuleista, mukailleen lähdettä [9]</i> | <i>8</i> |
| <i>Kuva 5. Erään työvaiheen kulkukaavio [11]</i> | <i>9</i> |
| <i>Kuva 6. Onnistuneen kokoonpanosuunnittelun osa-alueita</i> | <i>22</i> |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|-----|---|
| AMK | ammattikorkeakoulu |
| AR | Augmented Reality, lisätty todellisuus |
| CAD | Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu |
| CAE | Computer Aided Engineering, tietokoneavusteinen insinöörityö |
| DFA | Design for Assembly, suunnittelu, joka keskittyy osan tai tuotteen kokoonpantavuuteen |

1. JOHDANTO

Työn tavoitteena on tutkia tuotteen kokoonpanoa ja sen suunnittelua koneensuunnittelun ja insinöörikoulutuksen näkökulmasta. Kokoonpanosuunnittelun opetuksessa on huomioitava kaikki kokoonpanoon osallistuvat toimijat, jotta kokoonpanosuunnittelu on tarkoituksenmukaista. Kokoonpanosuunnittelua tehtäessä kokoonpanon suorittava työntekijä on otettava huomioon. Työ suoritettiin pääasiassa kirjallisuuskatsauksena, omia kokemuksia kokoonpanotyöstä hyödyntäen.

Työn motiivina oli tutkia, miten eri toimijoiden välinen kommunikaatio helpottaa tuotteen tuotantoketjua ja miten insinöörikoulutusta voitaisiin kehittää kokoonpanosuunnittelua tukevammaksi. Työssä keskittyy koneensuunnittelijan ja kokoonpanijan yhteistyöhön. Koneenrakennus on tietyllä tapaa hyvin jaottunut ala. Koneita usein suunnittelevat korkeakoulutuksen läpikäyneet ammattikorkeakoulu- ja diplomi-insinöörit, joilla ei välttämättä ole minkäänlaista kokemusta käytännön kokoonpanotyöstä. Koneita yleisesti kokoonpanevat ammattikoulutuksen läpikäyneet asentajat, hitsarit ja muut metallialan ammattilaiset. Ongelmia näiden kahden ryhmän välillä syntyy silloin, kun toinen osapuoli ei ymmärrä, mitkä asiat vaikuttavat toisen työn suorittaminen onnistumiseen. Työn tavoitteena on kartoittaa, miten suunnittelija voi helpottaa koneen rakennusta ja miten suunnittelijan tulisi huomioida tuotteen ja sen osien kokoonpantavuus.

Koska valmistavalta teollisuudelta vaaditaan yhä enemmän tehokkuutta, on tuotteiden suunnittelijoiden otettava huomioon myös valmistusnäkökulmat. Kokoonpanotyön helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi on kokoonpanoasennukseen ja -järjestykseen kiinnitettävä huomiota jo tuotekehitysvaiheessa. Luku 2 alkaa tarkastelulla, jotka liittyvät yksittäisten osien suunnitteluun ja miten osat liittyvät toisiinsa. Luvussa pohditaan, onko osan monimutkainen valmistus kannattavampaa kuin sen monimutkainen asennus.

Tavoitteena tehokkaassa kokoonpanotyössä on tuotannon läpimenoajan lyhentäminen. Luvussa 2 käydään läpi kokoonpanojärjestyksen vaikutusta tuotteen läpimenoaikaan ja seikkoja, mitkä olisi hyvä huomioida kokoonpanojärjestystä suunniteltaessa. Tuotteen läpimenoaikaan vaikuttaa moni asia, mutta yksi suurimmista on kokoonpanon läpivirtausnopeus. Tuotannossa voi olla eri kokoonpanopisteitä, jotka ovat joko riippumattomia tai riippuvaisia toisistaan. Kokoonpanosuunnittelu vähentää koneenrakennuksen kustannuksia lyhentämällä kokoonpanotyöhön käytettyä aikaa tai vähentämällä muita resursseja. Kun kokoonpanoprosessi on suunniteltu jo koneen suunnitteluvaiheessa, säästytään monilta tuotantoa hidastavalta ongelmatilanteelta. Kokoonpanoa suunniteltaessa on otettava huomioon sekä osan että osakokoonpanojen yhteenliittyminen eli kokoonpantavuus. Kokoonpanoprosessi on tuotteen valmistuksen kannalta yksi kriittisimmistä. Kuva 1 on lainattu Emma Eerolan vuonna 2015 valmistuneesta diplomityöstä *Kokoonpanon tuottavuuden edellytysten kehittäminen* [1]. Kuva antaa hyvän yleiskuvan kokoonpanoprosessiin

vaikuttavista moninaisista tekijöistä. Suunnittelu on kuvassa mainittu vain yhtenä osatekijänä, mutta mielestäni se liittyy välillisesti myös muihin kuvassa mainittuihin tekijöihin.



Kuva 1. Kokoonpanoon vaikuttavia tekijöitä [1]

Kokoonpanosuunnitteluun liittyy myös merkittäviä haasteita, joita on esitelty luvussa 2.4. Koneensuunnittelu ja -rakennus tapahtuvat enää harvoin samassa paikassa, kun tuotteita valmistetaan suuria määriä ja tuotekehitysprosessissa on mukana useita toimijoita. Globaalissa tuotantoketjussa tuotteen valmistus on voitu ulkoistaa tai suunnittelua voidaan tilata ulkopuoliselta toimijalta. On siis tärkeää huomioida myös kokoonpanosuunnitteluun liittyvät haasteet, jotta sille voidaan asettaa vaatimukset jo ennen kuin tuotetta aletaan valmistaa.

Luvussa 3 käydään pääpiirteittäin läpi kokoonpanosuunnitteluun liittyä työturvallisuuskäsitteitä. Työturvallisuus on nykyajan työelämässä yksi tärkeimmistä asioista. Kokoonpanotyön on siis oltava ennalta suunniteltua ja työntekijän on pystyttävä suorittamaan työnsä turvallisesti. Koneensuunnittelijan on otettava huomioon työturvallisuusehdot koko suunnitteluprosessin ajan.

Kokoonpanoon liittyvät myös oleellisesti työkalut, joita käytetään kokoonpanossa. Työvälineet on suunniteltava siten, että ne tukevat kokoonpanoa ja ovat tarkoituksenmukaisia, tehokkaita ja turvallisia asentajille. Luvussa 4 keskitytään nykyaikaisiin menetelmiin, joilla kokoonpanoa voidaan mallintaa jo ennen fyysisen tuotteen olemassaoloa. Luvussa pohditaan myös manuaalisen kokoonpanon suhdetta automaattiseen kokoonpanoon. Työntekijäkustannukset ovat merkittävä osa tuotteen valmistuskustannuksia, jos tuotteita koostuu suuresta määrästä osia ja siten kokoonpanotyötä on paljon. Automaattisiin ko-

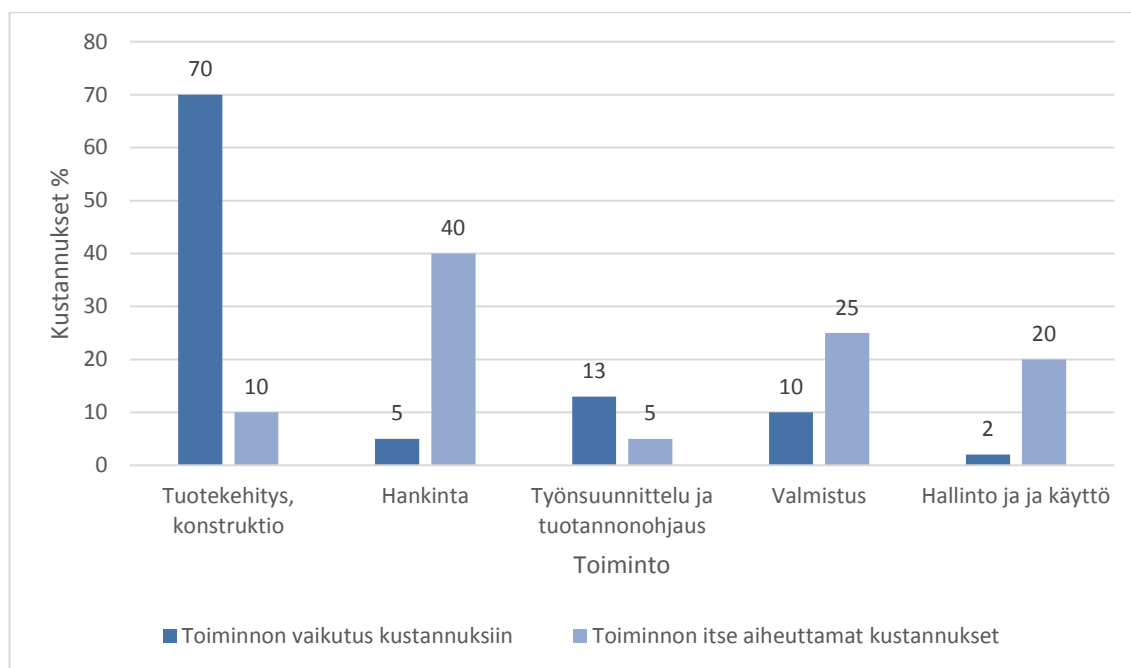
koonpanojärjestelmiin investoiminen on kallista ja siksi niiden käyttö on pystyttävä esimerkiksi perustelemaan kustannussäästöillä tehokkuuden lisääntyessä tai turvallisuusnäkökulmilla. On kone ei kuitenkaan aina ole ihmistä parempi työntekijä.

Luku 5 keskittyy koulutuksen merkitykseen koneensuunnittelijoiden ja kokoonpanotyöntekijöiden kommunikaation määräytymisessä. Kokoonpanoon ja sen suunnitteluun osallistuvien toimijoiden koulutuksessa on usein suuriakin eroja. Myös työkokemuksen määrä on usein aloittelevilla suunnittelijoilla merkittävästi pienempi kuin saman ikäisillä ammatillisen koulutuksen suorittaneilla työntekijöillä. Tekniikan alan korkeakoulutuksen kehitystä tehdään usein yhteistyössä yritysten kanssa, mutta eri opintoasteita harvemmin tuodaan yhdessä suunnittelemaan koko koulutuksen kokonaisuutta.

Yhteenveto aiemmissa luvuissa esitellyistä näkökulmista on kerätty lukuun 6. Yhteenvedossa esitellään myös yksinkertaistettu malli, jonka avulla koneen- ja kokoonpanosuunnittelussa sekä niiden opetuksessa voidaan ottaa huomioon kokoonpanotyön vaatimukset.

2. KOKOONPANTAVUUDEN SUUNNITTELU

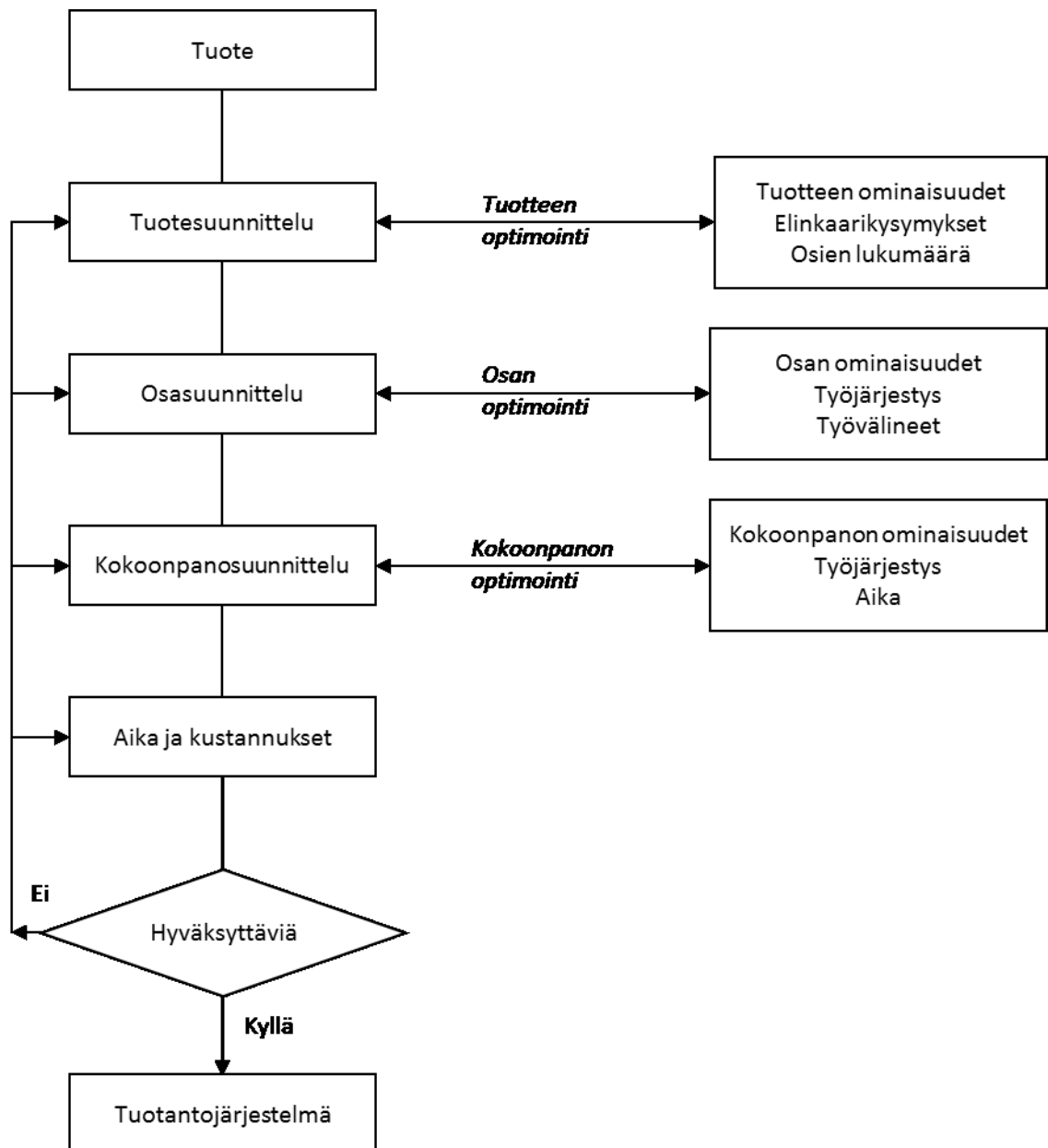
Tuotekehityksessä on otettava huomioon, että tuote täytyy pystyä valmistamaan tehokkaasti eli tuotannossa ei tarvitse käyttää ylimääräistä aikaa esimerkiksi erilaisten monimutkaisten osakokoonpanojen asennukseen vaan jo tuotteen kehittämisvaiheessa tuotteen kokoonpantavuus on otettu huomioon. Tuotteen varastointi ja pakattavuus on myös otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa, jotta tuote saataisiin helposti ja kustannustehokkaasti asiakkaille tai jälleenmyyjöille. Tuotannon näkökulmasta pitää päättää kuinka valmiiksi tuote kokoonpannaan ja miten se pakataan mahdollisimman tehokkaasti lähtiesään tuotannosta eteenpäin. Kuva 2 esittää tuotteen kokonaiskustannusten jakautumista eri osa-alueiden kesken. Suunnittelu vaikuttaa merkittävästi tuotteen kokonaiskustannuksiin, vaikka suunnittelun suorittamisesta aiheutuvat kustannukset ovat kohtuullisen pienet.



Kuva 2. Yrityksen eri toimintojen vaikutusosuus tuotteen kokonaiskustannuksiin [2]

Kokoonpanosuunnittelu on aloitettava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotetta suunniteltaessa. Kokoonpanon sujuvuus säästää resursseja myöhemmissä vaiheissa ja täten koko tuotantoprosessi on varmemmin aikataulussa. Huolellinen suunnittelu mahdollistaa muutosten tekemisen koneen kokoonpanoon asiakastarpeiden mukaan. Tuotteiden eri osien kokoonpanojärjestys ja kokoonpanon sujuvuus vaikuttavat merkittävästi tuotteen tuotannon läpimenoaikaan. Tuotannon läpimenoaikaa lyhentämällä saavutetaan kustannussäästöjä.

Kuva 3 kuvaa prosessia, joka suunnittelijan on käytävä läpi kokoonpanosuunnittelua tehdessään. Ennen kuin tuote päätyy tuotantoon, voidaan se suunnitella valmistettavaksi mahdollisimmin tehokkaasti ja täten säästää kuluissa. Suunnitteluun kuluu tällöin enemmän aikaa, mutta varsinkin suuria määriä valmistettaessa tuotteen valmistuskustannukset laskevat yksikköä kohden merkittävästi. Suunnitteluvaiheessa päätetään tuotteen valmistuskustannuksista laajemminkin. Esimerkiksi tuotteessa käytetyt materiaalit ja valmistusprosessit suunnitellaan usein jo tuotekehitysvaiheessa [3].



Kuva 3. Tuote- ja prosessisuunnittelun yhdistävä näkökulma (Fig. 1.1 An integrated perspective of product and process design), käännetty lähteestä [3]

Kokoonpanosuunnittelu aloitetaan konseptin määrittelystä ja prosessin esiasteen suunnittelusta. Sen jälkeen tehdään yksityiskohtaisempi suunnitelma, joka analysoidaan tuotteen

kokoonpantavuuden kannalta, ja arvioidaan suunnitelman toimivuus. Kokoonpanoprosessia optimoidaan, kunnes se täyttää sille asetetut vaatimukset. Kokoonpanojärjestelmän pohjapiirustus ja työasemien suunnittelu voidaan tehdä, kun prosessi on selvillä. Sen jälkeen suunniteltu prosessi ja järjestelmä testataan simulointien avulla [4]. Tietokoneavusteisesta testauksesta kerrotaan lisää alaluvussa 4.2. Erittäin tärkeä osa kokoonpanosuunnittelua on myös tutkia prosessin taloudellisten vaikutusten lisäksi prosessin ergonomia, varsinkin, jos käytetään asentajia mekaanisessa kokoonpanossa [3].

Kun tuotetta aletaan suunnitella, on myös suunniteltava, miten se valmistetaan. Valmistuskustannukset ovat suuri osa tuotteen kustannusrakenteessa, ja kokoonpanotyö on tärkeää ottaa huomioon kustannuksia laskettaessa. DFA (Design for Assembly) eli kokoonpanon huomioiva suunnittelu pyrkii ottamaan huomioon kokoonpanon jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. DFA:n yksi tavoite on yksittäisten osien määrän vähentäminen ja siten kokoonpanoprosessin tehostaminen. [5]

Koneensuunnittelussa jokaisen osan kohdalla on osa suunniteltava siten, että se pystytään myös asentamaan. Osien mitta- ja muototoleranssit on myös määriteltävä niin, että toisiinsa liitettävät osat voidaan asentaa paikalleen. [6] Samojen osien käyttäminen eri kokoonpanoissa tai tuotteissa säästää suunnittelu- ja valmistuskustannuksia. Hyvin samankaltaisia osia tulisi välttää. vähentäminen vähentää väärin osien asentamista, sillä toisiinsa läheisesti muistuttavat osat voivat mennä helpostikin kiireisessä tehdasympäristössä sekaisin. Yksittäisten osien kokoonpantavuutta helpottamalla voidaan kokoonpanoprosessia nopeuttaa merkittävästi. Kun koneensuunnittelussa huomioidaan mahdollisimman hyvin osien liittyminen toisiinsa ja koneeseen kokonaisuutena, vältetään tuotannossa tapahtuvia kompromissiratkaisuja. Jos osat eivät sovi kunnolla toisiinsa ja niitä ei saada liitettyä helposti yhteen, voi tuotanto viivästyä ja pahimmillaan pysähtyä kokonaan.

2.1 Osien muotoilu, kohdistus ja paikoitus

Kokoonpanosuunnittelun lähtökohtana on eri osien toisiinsa liittämisen sujuvoittaminen. Osat on alusta alkaen suunniteltava siten, että ne ottavat huomioon liitokset toisten osien kanssa. Kuitenkin kokoonpanosuunnittelussa tehtäessä on varottava, ettei tuotteen tai osan alkuperäinen käyttötarkoitus häiriinny tai sen ominaisuudet merkittävästi huononnu [3]. Osissa on myös oltava suunniteltu nostopiste, joka usein määräytyy vasta osan liittymässä kokoonpanoon.

Kokoonpanoa helpottamaan osiin voidaan suunnitella erilaisia merkintöjä tai piirteitä, jotka helpottavat osan asennusta. Osiin voidaan esimerkiksi merkitä asennussuunta tai etäisyys toisiin komponentteihin nähden. Kokoonpanoa helpottavat muodot ja piirteet (esim. hahlot tai nastat) estävät osan asentamista väärin. [7] Kustannussäästöjä syntyy, kun kokoonpanossa tapahtuu vähemmän virheitä, ja siten kuluu myös vähemmän aikaa. Eri osien vastaavat merkinnät helpottavat niiden yhteenliittymistä, ja samankaltaisten

osien erilaiset piirteet vähentävät niiden sekoittumista keskenään. Kokoonpanoa varten lisättyjen piirteiden tarkoitus on helpottaa osien paikoitusta.

Osat on saatava helposti paikalleen ja kiinnittymään. Kiinnitysten määrä on usein kannattavaa minimoida, jos se on tuotteen kestävyyskannalta mahdollista. Eri osien kiinnityspisteiden sijaitessa linjassa toisiinsa nähden voidaan ne mahdollisesti kiinnittää samalla kiinnikkeellä, esimerkiksi pitkällä pultilla. Jos kiinnikkeiden sijoittelu on vaikea, voidaan osaan tehdä valmiiksi sen kiinnittämiseen liittyvät piirteet. Yleisesti käytetty keino vaikeasti saavutettavien muttereiden kiristykseen on jo valmiiksi osaan hitsattu mutteri, jolloin vain pultti tarvitsee kiristää.

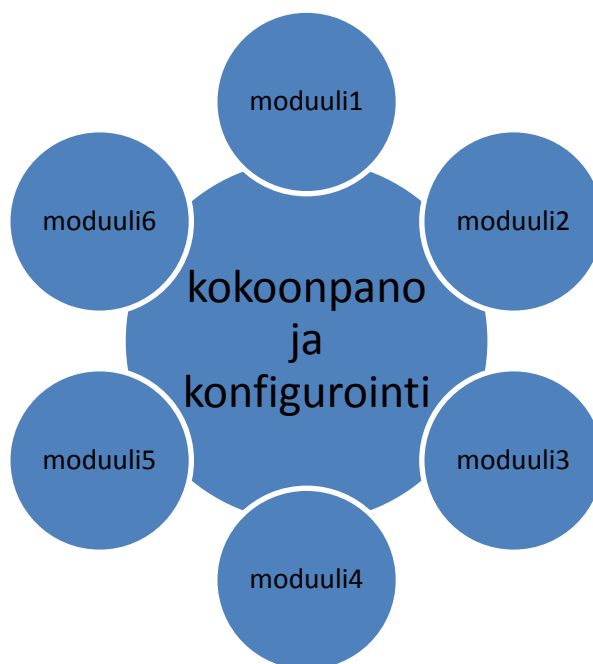
2.2 Työvaiheiden minimointi

Osien kiinnityksiä vähentämällä tai niiden piirteitä yhdistämällä voidaan merkittävästi vähentää kokoonpanoon liittyviä työvaiheita. Moduloinnilla voidaan vähentää osien määrää, kuten alaluvussa 2.2.1 on esitetty. Osien vähentämisen lisäksi työvaiheita pyritään minimoimaan.

Työvaiheita voidaan myös vähentää vähentämällä osien tai kokoonpanojen turhien kääntöjä, nostoja tai siirtoja. Kokoonpanotyötä helpottaa merkittävästi, että osien kokoonpanoon liittyvät liikkeet on suunniteltu valmiiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että osissa on ennalta määritellyt kiinnitys- ja nostokohdat ja työvaiheet suoritetaan ennalta määrättyllä tavalla. Turhien työliikkeiden poistaminen sekä nopeuttaa kokoonpanoa että poistaa liikkeistä aiheutuvia riskitekijöitä. Suuria kokoonpanoja tai osia liikuteltaessa on aina huomioitava työntekijöiden turvallisuus ja siksi kaikki liikkeet, jotka joudutaan kokoonpanon aikana tekemään olisi hyvä suunnitella etukäteen, jotta kokoonpanoprosessi olisi mahdollisimman turvallinen.

2.2.1 Modulointi

Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen rakentamista eri moduuleista. Tavoitteena moduloinnissa on osien määrän minimoiminen ja osien liittäminen toisiinsa kokonaisuuksiksi, jotka on helppo yhdistää toisiinsa. Moduloinnin avulla voidaan vähentää tuotteen valmistuskustannuksia. Eri osia yhdistämällä moduuleiksi pyritään saamaan aikaiseksi vähemmän jätettä, vähentämään osien määrää ja pienentämään tuotteen tilantarvetta. Kustannuksia säästyy myös kokoonpanovaiheessa, kun moduuleissa on yleensä vähemmän kiinnityspisteitä kuin erillisissä osissa ja moduulit on suoraan suunniteltu toisiinsa helposti kiinnitettäviksi. Koneen eri osat ja osakokoonpanot suunnitellaan siis siten, että ne ovat helposti liitettävissä koneen pääkomponentteihin, perusosiin tai runkoon ja niiden eri variaatiota on helppo vaihtaa toisiin. [8] Moduloinnilla voidaan myös yhdistellä erilaisia ominaisuuksia eri konetyypeiksi.



Kuva 4. Tuotteen konfigurointi moduuleista, mukaillen lähdettä [9]

Kuva 4 esittää hyvin yksinkertaistettua modulaarista rakennetta esimerkiksi ajettavasta työkoneesta. Jokaisessa moduulissa on erilaisia vaihtoehtoja, joita voidaan vaihdella asiakastarpeen mukaan. Saman tuoteperheen sisällä voi olla siis monia erilaisia variaatioita samasta koneesta. Konetyyppi määrittää usein pääkomponenttinsa mukaan, esimerkiksi runko- tai moottorikoon, mutta lisävarusteita moduloimalla voidaan helposti luoda lukuisia määriä variaatioita samalla pohjaratkaisulla. Tällöin eri asiakastarpeet voidaan huomioida helposti vasta kokoonpanovaiheessa, jolloin usein toimitusaikakin lyhenee. Tuotteita ei tarvitse suunnitella kokonaan uudestaan, vaikka eri asiakkaat haluaisivat erilaisia toiminnollisuuksia omaan koneeseensa. Esimerkkinä voidaan ottaa moottorin koko, istuimen muotoilu tai erilaiset lisävarusteet. Jokaiselle asiakkaalle voidaan tällöin rakentaa omanlaisesta kokoonpano ja tuotekonfiguraatio.

2.2.2 Osakokoonpanot

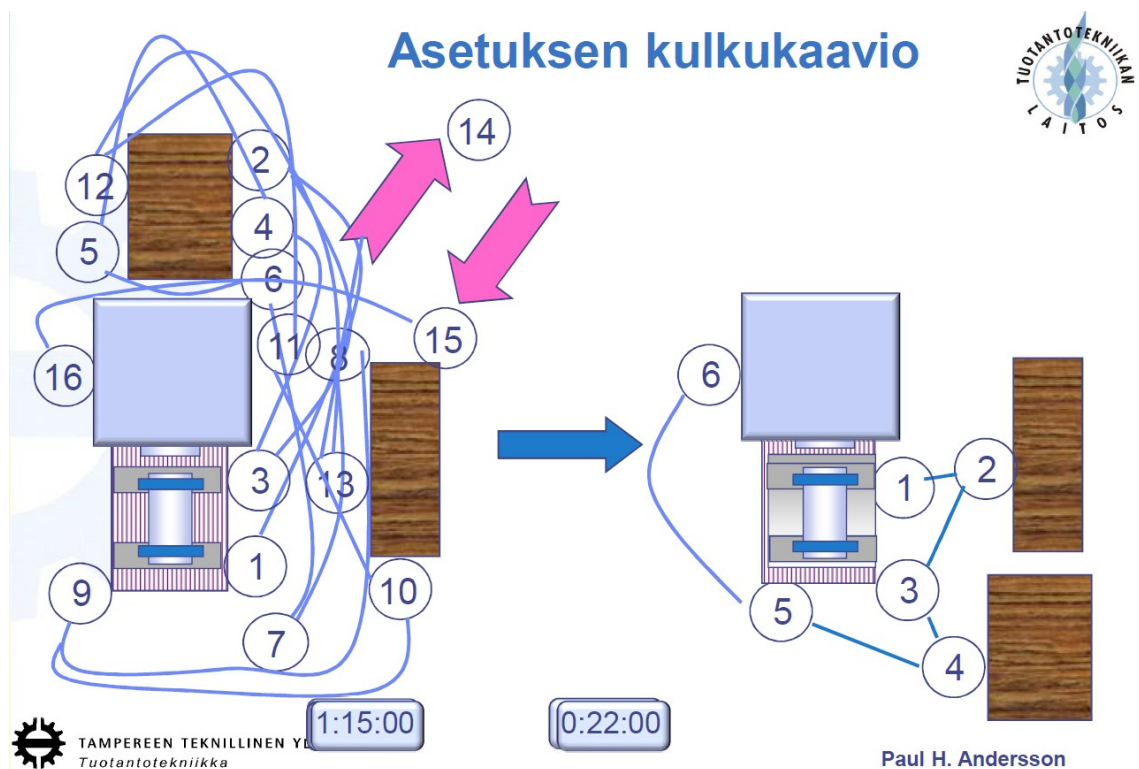
Monimutkaiset tuotteet koostuvat usein pienemmistä osakokoonpanoista, jotka voidaan liittää toisiinsa. Osakokoonpanot nopeuttavat kokoonpanotoimintaa, sillä konetta voidaan rakentaa samanaikaisesti monella eri pisteellä ja lopuksi yhdistää eri osakokoonpanot yhdeksi koneeksi. Yhden koneen parissa voi samanaikaisesti työskennellä vain tietty määrä asentajia tila- ja turvallisuuskäkökulmat huomioon ottaen. Jos jokainen osa asennettaisiin erikseen, kokoonpanoaika kasvaisi merkittävästi.

Toisistaan riippuvat osat olisi hyvä sijoittaa samaan osakokoonpanoon tai kokoonpano-asemalle, jotta ne eivät häiritsisi muuta kokoonpanotoimintaa [5], [10]. Jokaiselle osalle voidaan määritellä osan painoarvo koko tuotannon kannalta. Painoarvo riippuu siitä, aiheutuuko osan asennuksen viivästymisestä viivästyksiä muuhun tuotantoon. Kriittisten

komponenttien saatavuuteen ja kokoonpanoon voidaan silloin ohjata enemmän resursseja, jotta tuotanto ei häiriintyisi vikatilanteissa.

2.2.3 Työasemien suunnittelu

Jokaiselle kokoonpanopisteelle ja -toiminnolle on suunniteltava asianmukainen työasema, jossa on tarvittavat työvälineet. Varsinkin suuret osat tai kokoonpanot Jokaiselle kokoonpanopisteelle ja -toiminnolle on suunniteltava asianmukainen työasema, jossa on tarvittavat työvälineet. Varsinkin suuret osat tai kokoonpanot vaativamahdollisesti telineen tai nostimia, jotta kokoonpanotyö voidaan suorittaa turvallisesti ja tehokkaasti. Kuten alaluvussa 2.1 mainitaan, osien kiinnitykset ja nostokohdat on suunniteltava etukäteen. Sama koskee osakokoonpanoja ja myös valmiita tuotteita. Jos kokoonpanoa on tarvetta liikutella tuotannon aikana, on sen liikkeet suunniteltava etukäteen. Pitkät kuljetusmatkat ja tarpeettomat välivarastot hidastavat tuotannon virtaavuutta. Kuva 5 kuvaa tilannetta, jossa työvaiheen kulkua ei ole suunniteltu tarkasti etukäteen ja aikaa kuluu turhiin siirtoihin. Kokoonpanojärjestystä suunniteltaessa on otettava huomioon, että työvaiheet tehdään mahdollisimman tehokkaasti.



Kuva 5. Erään työvaiheen kulkukaavio [11]

Kun työasemat on suunniteltu toimiviksi, tuotannosta poistetaan monia riskitekijöitä. Tuotanto on silloin ennustettavampaa ja sujuvampaa. Tuotantoa rajoittavat työvaiheet eli tuotannon pullonkaulat on helpompi tunnistaa, kun työasemasuunnittelu on tehty perusteellisesti. Kun pullonkaulat saadaan eliminoitua, tuotteiden läpimenoaika pienenee. [5]

2.3 Kokoonpantavuus huoltotoimenpiteissä

Sen lisäksi, että tuote on koottava valmistusvaiheessa, on sitä usein myös pystyttävä huoltamaan ja korjaamaan. Yleisesti vikaantuvat tai tietyin väliajoin vaihdettavat komponentit täytyy sijoittaa niin, että ne on helppo vaihtaa. Yleisesti ottaen komponenttien kiinnitykset olisi hyvä suunnitella siten, että kone on myös tarvittaessa purettavissa. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista esimerkiksi kustannus- tai turvallisuussyistä. Yksinkertaiset kiinnitykset nopeuttavat valmistusvaiheen kokoonpanoa, vähentävät komponenttien määrää ja ovat usein halvempia. Jos kiinnityksissä on otettava huomioon myös huoltotoimenpiteet, suunnitteluun kuluu myös enemmän aikaa. Tämä aiheuttaa kustannuksia, mutta nostaa tuotteen käyttöarvoa asiakkaan näkökulmasta. [12]

Kokoonpanosuunnittelussa joudutaan tekemään kompromisseja, sillä ratkaisut, jotka ovat hyviä tuotteen valmistusvaiheen kokoonpanossa, eivät välttämättä toimi huoltotoimenpiteitä ajatellen. On siis päätettävä, onko huollettavuus tai kokoonpantavuus tärkeämpää. Toistuvasti huollettavien osien saavutettavuus on asiakkaalle usein tärkeämpää kuin koko koneen purettavuus. Konevalmistajat usein määrittelevät eri koneenosille niiden tärkeyden huollon kannalta ja pyrkivät sijoittelemaan huoltoa ja tarkistuksia vaativat osat siten, että niihin on helppo päästä käsiksi. Tämä lisää koneen käytettävyyttä ja siten myös koneen arvoa asiakkaalle.

2.4 Kokoonpanosuunnittelun haasteet

Suunnitteluun liittyy aina haasteita, niin myös kokoonpanosuunnitteluun. Tuotantoon käytössä olevat resurssit ovat myös merkittävä osa kokoonpanosuunnittelua. Suunnittelija voi suunnitella kokoonpanoprosessin optimaaliseksi, mutta resurssit määräävät sen, miten tuote oikeasti pystytään valmistamaan. Suunnittelijan on pystyttävä tekemään yhteistyötä muiden tuotannon osa-alueiden kanssa, jotta kokoonpanosuunnittelu on mahdollisimman onnistunutta.

2.4.1 Käytössä olevat resurssit

Kokoonpanoprosessiin vaikuttavat olennaisesti myös käytettävissä olevat työvälineet ja –koneet. Vaikka kokoonpanosuunnittelussa löydettäisiin toimivin ja tehokkain tapa toimia kokoonpanoprosessissa, välttämättä optimaalisin tapa ei ole mahdollinen. Erilaiset tuotantokoneet ovat kalliita investointeja ja varsinkin aloittelevalla yrityksellä harvoin on varaa hankkia kaikkia laitteistoja kerralla. Myöskään osaavaa työvoimaa ei välttämättä ole tarjolla. Käytössä olevat työkalut on myös määriteltävä ja pidettävä huolta, että jokaisella työvaiheelle on varattu niissä tarvittavat välineet, jottei tuotanto hidastuisi puutteiden takia. Tuotantotilat on rakennettava siten, että ne tukevat tuotantoa ja kokoonpanoprosessi on mahdollisimman sujuva ja turvallinen.

Tuotannossa on usein eri pisteitä tai osastoja, jotka toimittavat toisilleen tuotteita tai materiaalia. Eri kokoonpanopisteet voivat olla joko riippumattomia tai riippuvaisia toisistaan. On tärkeää tunnistaa tuotannon pullonkaulat, kun tuotteelle tehdään kokoonpanosuunnittelua. Erilaisille kokoonpanopisteillä tai osakokoonpanoilla voidaan vähentää tuotanto rajoittavia tekijöitä ja resursseja ohjata tarkemmin. [13]

2.4.2 Tuotteelle asetetut vaatimukset

Tuotteelle asetetaan vaatimuksia monessa erivaiheessa tuotanto- ja tuotekehitysketjua. Yhtenä merkittävänä tekijänä tuotteen kannattavuudelle ovat sen valmistuksesta aiheutuneet kustannukset. Tuotteen kustannukset koostuvat enimmäkseen materiaalikustannuksista sekä työvoima- ja työvälinekustannuksista. Tuotannon läpimenoaika vaikuttaa näihin kustannuksiin. Tuotannolle asetetaan tavoitteita myös laadun suhteen. Tuotteilla tarvitsee olla tietty puhtaustaso ja sen osien on vastattava niille määritellyjä toleransseja.

Osien ja kokoonpanojen toleranssit pitää määritellä siten, kokoonpano on ylipäänsä mahdollista. Liian pienet toleranssit vaikuttavat koneen tuotantokustannuksiin ja lisäävät tarkastustyötä kokoonpanossa. Liian suuret toleranssit taas saattavat aiheuttaa koneen ominaisuuksien heikentymistä. Geometristen toleranssien tulisi siis olla tarpeeksi suuria, jotta kokoonpano ei vaikeudu tarpeettoman paljoa, mutta tarpeeksi tiukkoja, jotta tuote täyttää sille asetetut laatu- ja toimintavaatimukset. Jos toleranssit eivät ole sopivasti määritettyä, joudutaan kokoonpanovaiheessa osiin tehdä muokkauksia (esimerkiksi hiontaa) tai osia vaihtamaan kokonaan. Tämä hidastaa kokoonpanoa ja luo lisää epävarmuutta ja riskitekijöitä tuotantoon. [14]

Kokoonpanosuunnittelua ajatella on myös huomioitava tuotteen valmistusvolyymi. Kun tuotteita valmistetaan suuria määriä, on kokoonpanosuunnittelu huomattavasti tärkeämpää kuin yksittäisille erikoistuotteille. Jos yksittäisen erikoistuotteen suunnitteluun käytetään huomattava määrä aikaa ja suunnittelua ei voida hyödyntää muissa tulevilla tuotteissa, nousee suunnittelun osa tuotteen hinnasta melko korkeaksi. Mitä suurempia volyymeja tuotteita valmistetaan, mitä pienempi on suunnittelun osuus valmiin tuotteen hinnasta. [2, 13]

3. TYÖTURVALLISUUS

Tuotteilla asetetaan myös esilaisia vaatimuksia, ja myös suunnittelijan on huomioitava vaatimusten täyttymisestään omalta osaltaan. Yksi tärkeimmistä näkökulmista suunnittelijankin osalta on koko tuotantoprosessiin ja sitä kautta myös kokoonpanoprosessiin osallistuvien työntekijöiden työturvallisuus. Seuraavissa alaluvuissa on esitelty muutamia omasta mielestäni tärkeimpiä näkökulmia, jotka suunnittelijan olisi hyvä ottaa huomioon kokoonpanosuunnittelua tehdessään.

Työntekijöiden koulutus on erittäin tärkeää, kun suunnitellaan kokoonpanoprosessia. Kokematon työntekijä on usein alttiimpi tapaturmille, jos ei tiedä tarkalleen, mitä on tekemässä. Koska prosessista pyritään tekemään mahdollisimman sujuva ja tehokas, on työntekijöiden osattava käyttää kokoonpanotyökaluja ja –koneita mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti. Myös tarvittavista suojavälineistä on huolehdittava. Jos kokoonpanotyöhön osallistuu kokoonpanorobotteja, on huomioitava tarvittavat suoja-alueet, jotta sekä ihminen että robotti pystyvät tekemään työnsä.

3.1 Osien ja kokoonpanojen muotoilu ja työohjeet

Kokoonpanosuunnittelua tehdessä on hyvä arvioida, minkälaisia työtehtäviä kokoonpanotyöntekijä joutuu kokoonpanoprosessin aikana suorittamaan. Osista olisi hyvä poistaa kokoonpanoa vaikeuttavat ominaisuudet, kuten terävät reunat tai herkäät elementit. Herkimmät työvaiheet, kuten maalaus, kannattaa suorittaa vasta kokoonpanoprosessin lopussa. Työntekijälle mahdollisesti vaaralliset tekijät pitää minimoida ja jos niiden poisto ei ole mahdollista, on työntekijöille hankittava tarkoituksenmukaiset suojavälineet. [15]

Jokaiseen kokoonpanoon kuuluu kokoonpanopiirustus ja sen pohjalta rakennetut kokoonpanon työohjeet. [2] Riippuen siitä, miten yrityksen tuotanto on järjestetty, työohjeita laativat joko koneensuunnittelijat, työjohtajat tai kokoonpanotyöntekijät, yleisesti ottaen kuitenkin nämä kaikki ryhmät yhteistyössä. Työohjeiden tarkoituksena on toimia sekä apuna uuden työntekijän perehdytyksessä että kokeneemman työntekijän muistilistana. Vakioitujen työohjeiden avulla kokoonpanotyö suoritetaan ennalta määritetyllä tavalla ja näin mahdolliset riskit pystytään tunnistamaan ja minimoimaan.

3.2 Nostot ja siirrot

Nostojen ja siirtojen suunnittelu on osa kokoonpanosuunnittelua. Kokoonpanoon tarvittavat nostovälineet on selvitettävä etukäteen, jotta kokoonpanotyöhön on käytettävissä tarpeeksi resursseja ja työvälineet ovat tarkoituksenmukaiset. Kuten muukin kokoonpanoprosessi, nostot ja siirrot on opetettava uusille työntekijöille perusteellisesti. Varsinkin

suurten taakkojen nostot ovat aina vaarallisia. Nostoihin tarvittavat nosturit ja apuvälineet on oltava saatavilla, jotta nostot voidaan suorittaa suunnitelmien mukaisesti.

Käsin tehtäviä raskaita nostoja pitäisi välttää. Suurten taakkojen nosto on aina riski terveydelle. Taakan muoto ja paino vaikuttava merkittävästi siihen, miten nosto kannattaa suorittaa. Yksikin väärin tehty nosto saattaa aiheuttaa tapaturman. Nosto- ja siirtotilanteita suunniteltaessa olisi myös hyvä ottaa huomioon taakan suuruuden lisäksi liikkeen toistuvuus ja kesto. Varsinkin kierrot ja vaikeat liikesuunnat kuormittavat kehoa ja saattavat aiheuttaa työntekijälle oireilua. [16]

Ihmisen keho koostuu mekaanisesti ajateltuna nivelistä, joilla on tietyt liikesuunnat, luista, jotka ovat jäykkiä kappaleita ja lihaksista, joilla on tietyn suuruinen voimantuotto. Ihmiskeholla on omat kestävyysvaatimuksensa, joita ei voida ylittää. Manuaalinen materiaalin hallinta eli ihmisen suorittama siirto- tai nostotyö on suositeltavaa välttää. Kuitenkin, jos sitä ei pystytä kokonaan poistamaan on hyvä noudattaa muutamia perusperiaatteita [17]

1. Vähennä käsiteltävien kohteiden painoa (esimerkiksi pakkauskokoa pienentämällä).
2. Käytä kahta tai useampaa henkilöä suurten tai painavien kohteiden siirrossa.
3. Muuta aktiviteettia; esimerkiksi vaihda kantaminen vetämiseksi tai mieluummin työnnöksi
4. Minimoi poikittaiset liikkeet noston aikana (mm. kantomatka).
5. Älä pinoa kohteita yli olkalinjan.
6. Pidä painavat kohteet polvenkorkeudella.
7. Vähennä nostojen toistoja.
8. Sisällytä lepoaika työaikaan.
9. Sisällytä työkierto vähemmän kuormittavien työtehtävien kanssa.
10. Suunnittele säiliöt, siten että niissä on kahvat, joiden avulla taakka voidaan pitää lähellä vartaloa.

Kokoonpanosuunnittelussa on otettava huomioon ihmisen luonnolliset liikesuunnat, jotta kokoonpanijoille tulisi työstään mahdollisimman vähän raskautta. Turhia liikkeitä ja vaikeita asentoja on vältettävä. Hyvä työergonomia auttaa jaksamaan ja täten myös lisää työturvallisuutta ja tuottavuutta. [18]

4. KONE VS IHMINEN

Tulevaisuudessa koneenrakennus muuttuneen yhä enemmän tietotekniikkapainotteiseksi. Teknologien kehittyessä myös kokoonpanosuunnitteluun on saatu uusia työvälineitä. Kokoonpantavuutta on siis nykyisin suunniteltava myös automaattisen kokoonpanon näkökulmasta. Kokoonpanorobottien havainnointikyky ei välttämättä ole yhtä tarkkaa kuin ihmisen, mutta esimerkiksi konenäön kehittyessä kokoonpanoa voidaan automatisoida yhä enemmän.

Modernin insinöörikoulutuksen kulmakivi on tietokoneavusteinen suunnittelu. Tietokoneavusteisen suunnittelun avulla säästetään merkittävästi resursseja koko tuotteen suunnittelu- ja valmistusketjun aikana, sillä muutosten tekeminen sähköisiin suunnittelu- ja valmistusdokumentteihin on huomattavasti nopeampaa kuin perinteisiin paperisiin. Tieto myöskin kulkee tehokkaammin ja reaaliajassa eri toimijoiden välillä sähköisesti.

4.1 Tietokoneavusteinen suunnittelu

Koneensuunnittelussa on jo vuosia käytetty hyväksi tietokonesovelluksia suunnittelun apuvälineenä. Pääasiassa CAD (*computer aided design*) ja CAE (*computer aided engineering*) eli tietokoneavusteinen suunnittelu ja insinöörityö nopeuttavat tuotteen geometria luomista ja muuttamista sekä luovat siitä kolmiulotteisen mallin, jota voi tarkastella ja muokata tarpeen mukaan. Vaikka tietokoneavusteista suunnittelua on jo pitkään käytetty koneen geometrian suunnittelun apua, suunnittelun jälkeinen tuotekehitysketju nojaa usein vielä perinteisiin metodeihin. [2]

Tuotteen kokoonpanoa suunniteltaessa on usein kannattavaa käyttää hyväkseen tietokonesovelluksia. Kokoonpanosuunnittelua voidaan tehdä tehokkaasti tietokoneavusteisesti ja uudet teknologiat ovat mahdollistaneet myös prototyyppien testauksen ilman tarvetta valmistaa fyysisiä kappaleita.

4.2 Virtuaalinen suunnittelu ja kokoonpano

CAD ja CAE mahdollistavat myös koneiden kokoonpanon suunnittelun ilman hidasta ja kallista prototyyppien rakennusta. Tuotteesta voidaan tehdä fyysinen kappale vasta, kun kaikki virtuaalisissa mallissa esiin tulleet ongelmat on ratkaistu. *Virtual prototyping* eli virtuaalinen prototyyppien luonti säästää aikaa kokoonpano ja valmistusvaiheessa, vaikkakin vie enemmän aikaa suunnittelusta. [19], [20], [21] *Virtual prototyping* tukee koneensuunnittelua tapauksissa, joissa prototyyppien valmistus on kallista ja aikaa vievää ja suunnitelma halutaan validoida ennen fyysisen prototyypin valmistusta. Joissain ta-

pauksessa fyysiselle prototyypille ei ole enää tarvetta, jos tietokoneavusteisesti tuotesuunnittelu on luotettava. Uudet 3D-printtausteknologiat mahdollistavat tuotteiden nopean valmistamisen vaihtoehtoisesta materiaalista jo suunnitteluvaiheessa.

Augmented Reality (AR) eli lisätty todellisuus [22] tuo kokoonpanosuunnitteluun uusia mahdollisuuksia, kun fyysisiä osia voidaan tarkastella tietokoneavusteisesti. AR:n avulla tuotteesta voidaan tehdä raakaversio ja lisätä siihen elementtejä, joita ei kyseisessä suunnitteluvaiheessa ole vielä fyysisesti olemassa. Lisätyn todellisuuden avulla kokoonpanopisteelle voidaan myös tuoda mallikappale valmiista tuotteesta tai lisätä eri osiin kokoonpano-ohjeita tai kokoonpano helpottavia merkintöjä.

Uutta teknologiaa käytettäessä on huomioitava kaikkien tuotantoketjussa mukana olevien koulutus. Vaikka suunnitteluinsinööri osaisi käyttää lisätyn todellisuuden työvälineitä sujuvasti, jotta niistä olisi todellista hyötyä tuotteen valmistuksessa, on teknologien käyttö oltava luontevaa myös kokoonpanotyöntekijöille ja huoltohenkilökunnalle. Uusien teknologioiden käyttöönottoon siis on varattava aikaa ja resursseja, jotta niistä saadaan mahdollisimman suurin hyöty irti.

4.3 Automaatio ihmisen korvaajana

Tehtaiden kokoonpanolinjat automatisoituvat jatkuvasti yhä enemmän ja mekaanisen kokoonpanotyön määrä on vähentynyt Kokoonpanorobottien ei välttämättä tarvitse pitää taukoja, koneenkäyttäjää voidaan vaihtaa vuorojen välillä. Ihmisen on niitä pidettävä. Teknologian kehittyessä kokoonpanoroboteista tulee yhä tehokkaampia ja ne voivat korvata ihmisasentajan monissa eri kokoonpanotehtävissä [23]. Koneasentajat saattavatkin tulevaisuudessa muuttua koneenkäyttäjäksi. Tulevaisuudessa ammatillisen koulutuksen on siis muututtava yhä teoreettisemmaksi, jotta tulevaisuuden osaajilla olisi osaaminen käyttää ja huoltaa monimutkaistakin tekniikkaa.

Vaikka ihminen pystyisi asentamaan jonkin tietyn osan, teollisuusrobottien tekniikka ei välttämättä ole vielä sillä tasolla, että ne pystyisivät havainnoimaan ympäristöään riittävän tarkasti. Konenäön kehittyessä kokoonpanorobotit pystyvät havainnoimaan ympäristöään paremmin ja voivat siten korvata ihmisen. Kone pystyy usein tuottamaan huomattavasti suurempia voimia kuin ihminen ja koneen liikenopeus on suurempi. On kuitenkin muistettava, että robottien uudelleenohjelmoiminen vaatii tietynlaista korkeatasoista osaamista ja aikaa. Lisäksi ne ovat erittäin kalliita investointeja ja rikkoutuessaan saattavat pysäyttää koko tuotannon. Ne kuitenkin ovat usein huomattavasti tehokkaampia tekemään yksinkertaisia ja toistettavia työtehtäviä kuin ihminen. [12]

Ihmisen työpanoksen siirtäminen eri kohtaan tuotantoketjua on aiheuttanut ongelmia väestön työllistymisessä. Insinöörikoulutukseen lisätään resursseja, mutta hakijoita ei ole tarpeeksi täyttämään vallitsevaa osaajapulaa, mutta suorittavaa työtä tekevien työpaikkojen määrä vähenee jatkuvasti. Automaation käyttö nostaa siis esiin uusia ongelmia: Onko

eettisesti kestävää korvata ihmisten työpanosta automaatiolla? [24] Insinööriyöhön liittyvää etiikkaa on tutkittu jo vuosia, mutta uusien teknologioiden kehittyessä on jouduttu kohtaamaan uusia ongelmia. Vaikka tuottavuus kasvaisikin pitkällä tähtäimellä automaatiota käytettäessä, ei sen nopea käyttöönotto ole välttämättä kansantaloudellisesti kestävä ratkaisu.

5. KOULUTUS JA TIETOTAITO

Eri koulutukset tuottavat erilaista osaamista, ja usein käytännön osaaminen syntyy vasta työelämän kautta. Yleisesti ottaen koneensuunnittelijoilla toimivat AMK- ja diplomi-insinöörit, joilla vain harvalla on pidempiaikaista kokemusta kokoonpanotyöstä. Kokoonpanijoina taas toimivat useimmiten ammatillisen koulutuksen läpikäyneet asentajat, joilla ei ole suunnittelukokemusta. Näiden kahden ammattilaisryhmän käsitykset onnistuneesta kokoonpanosuunnittelusta voivat erota merkittävästi. Onnistuneen kokoonpanosuunnittelun kannalta on siis olennaista, että koneensuunnittelijat toivat tiiviissä yhteistyössä kokoonpanijoiden kanssa, jotta koko kokoonpanoprosessi olisi mahdollisimman onnistunut.

5.1 Eri koulutusten profiilit

Merkittävä haaste kokoonpanosuunnittelussa on koneen rakennukseen osallistuvien osapuolien erilaiset osaamis- ja koulutustaustat. Taulukko 1 esittelee muutamia esimerkkejä suomalaisista tutkinnoista ja miten ne sijoittuvat eurooppalaisten tutkintojen viitekehukseen. Viitekehys määrittelee jokaiselle tutkintatasolle omat osaamistasonsa, jotka koulutuksen on tarkoitus tuottaa. Ammatilliset tutkinnot sijoittuvat viitekehystasolle 4, johon on määriteltä kaikki ns. kolmannen asteen tutkinnot. Suomalaiset kandidaatin ja ammattikorkeakoulututkinnot sijoittuvat samalla viitekehystasolle 6, mutta kansallisesti niiden tuottamassa osaamisessa on suuriakin eroja. Konetekniikan AMK-tutkinto keskittyy teknisen suunnittelun lisäksi myös käytännön työhön, kun taas tekniikan kandidaatin tutkinnon tarkoitus on tuottaa luonnontieteellinen osaaminen diplomi-insinöörin tutkinnon pohjaksi oman tutkintoalan perusosaamisen lisäksi. Diplomi-insinöörin tutkinto taas sijoittuu tasolla 7 muiden maisteritasoisten tutkintojen tapaan. Tason 7 tutkinnot ovat omaan alaansa erikoistuneita tutkintoja.

Viitekehystasoista tekee ongelmallisia se, etteivät ne kerro tutkinnon suorittajan osaamisesta kuin tason. Substanssiosaamista kuvataan vain yleisellä tasolla. Eri oppilaitosten välillä on painotuseroja, jotka muokkaavat tutkinnon suorittajan osaamista. Kansallisesti tutkintoja on pyritty yhtenäistämään siten, että samalla tutkintonimikkeellä valmistuvilla olisi samat perusosaamiset ja alan yleiset substanssitaidot. [25]

Taulukko 1. Eri tutkintojen tuottama osaaminen [25]

| esimerkki-tutkinto | taso | osaamistasokuvaus |
|--|------|---|
| Kone- ja metallialan perustutkinto, kone- asentaja | 4 | <ul style="list-style-type: none"> • Työ- tai opintoalan fakta- ja teorian tiedot laajoissa asiayhteyksissä • Tietyt kognitiiviset ja käytännön taidot, joita vaaditaan ratkaisujen tuottamiseksi työ- tai opintoalan erityisongelmiin • Itsenäinen työskentely yleensä ennustettavien mutta mahdollisesti muuttuvien työ- tai opintoympäristöjen sääntöjen puitteissa • Muiden suorittamien rutiinitehtävien valvonta, osittaisen vastuun ottaminen työhön tai opintoihin liittyvien toimien arvioinnista ja parantamisesta |
| Teknisen suunnittelun perustutkinto | | |
| Tekniikan kandidaatti, konetekniikka | 6 | <ul style="list-style-type: none"> • Edistyneet työ- tai opintoalan tiedot, joihin liittyy teorioiden ja periaatteiden kriittinen ymmärtäminen • Edistyneet taidot, jotka osoittavat asioiden hallintaa ja kykyä innovaatioihin ja joita vaaditaan erikoistuneella työ- tai opintoalalla monimutkaisten tai ennakoimattomien ongelmien ratkaisemiseen • Monimutkaisten teknisten tai ammatillisten toimien tai hankkeiden johtaminen ja vastuun ottaminen päätöksenteosta ennakoimattomissa työ- tai opintoympäristöissä • Vastuun ottaminen yksittäisten henkilöiden ja ryhmien ammatillisesta kehityksestä |
| Konetekniikan insinööri, AMK | | |
| Konetekniikan diplomi-insinööri | 7 | <ul style="list-style-type: none"> • Pitkälle erikoistuneet, osittain työ- tai opintoalan huippuosaamista vastaavat tiedot, joita käytetään itsenäisen ajattelun ja/tai tutkimuksen perustana • Alan ja eri alojen välisten rajapintojen tietoihin liittyvien kysymysten kriittinen ymmärtäminen • Erikoistuneet ongelmanratkaisutaidot, joita vaaditaan tutkimus- ja/tai innovaatiotoiminnassa uusien tietojen ja menettelyjen kehittämiseen ja eri alojen tietojen yhdistämiseen • Monimutkaisten, ennakoimattomien ja uusien strategioita vaativien työ- tai opintoympäristöjen johtaminen ja muuttaminen • Vastuun ottaminen ammattialan tietojen ja käytäntöjen kartuttamisesta ja/tai ryhmien strategisen suorituksen arvioinnista |

5.2 Insinöörikoulutuksen kehittäminen

Insinöörialat houkuttelevat yleisesti ottaen uteliaita ja ongelmanratkaisukeskeisiä opiskelijoita [24]. Insinöörikoulutuksesta on tullut yhä saavutettavampaa. Ongelmaksi usein muodostuukin se, että moni korkeakoulutukseen, varsinkin yliopistotasolle hakeutuva on pohjakoulutukseltaan ylioppilas, tiet ammatillisen koulutuksen valinneiden kanssa erkaantuvat jo hyvin varhaisessa vaiheessa, jo ennen työuraa.

Taulukko 2. Koulutuksen periytyvyys [26]

| Äidin koulutusala | Lapsen koulutusala | | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Perusasteen koulutus | 0. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. |
| Perusasteen koulutus | 126,5 | 73,9 | 74,5 | 68,4 | 94,1 | 72,0 | 104,4 | 102,2 | 95,0 | 108,1 |
| 0 Yleissivistävä | 65,9 | 261,4 | 120,3 | 173,2 | 131,5 | 160,9 | 69,5 | 68,2 | 83,8 | 68,5 |
| 1 Kasvatustieteellinen ja opettajankoulutus | 26,5 | 169,7 | 344,1 | 249,5 | 113,0 | 195,2 | 74,2 | 93,4 | 97,8 | 65,9 |
| 2 Humanistinen ja taideala | 41,1 | 218,6 | 162,1 | 322,8 | 120,0 | 216,6 | 69,3 | 73,8 | 85,3 | 58,3 |
| 3 Kaupallinen ja yhteiskuntatieteellinen | 58,3 | 160,4 | 137,3 | 145,1 | 129,6 | 154,9 | 89,1 | 65,4 | 96,4 | 78,3 |
| 4 Luonnontieteellinen | 30,6 | 222,8 | 154,6 | 196,5 | 100,6 | 391,2 | 92,5 | 69,0 | 98,1 | 47,7 |
| 5 Tekniikan ala | 91,4 | 92,6 | 84,5 | 95,7 | 96,5 | 95,3 | 112,5 | 94,4 | 96,3 | 102,2 |
| 6 Maa- ja metsätalousala | 73,5 | 68,1 | 81,5 | 98,2 | 84,7 | 110,9 | 105,7 | 279,5 | 93,1 | 106,1 |
| 7 Terveys- ja sosiaaliala | 52,9 | 139,6 | 151,2 | 147,0 | 102,8 | 142,9 | 89,4 | 83,9 | 135,9 | 85,0 |
| 8 Palvelualat | 86,7 | 87,4 | 94,6 | 95,9 | 93,5 | 92,0 | 104,8 | 121,8 | 105,1 | 112,8 |
| 9 Muu tai tuntematon koulutusala | 165,4 | 220,5 | 63,2 | 41,5 | 95,0 | 166,8 | 96,8 | 86,3 | 41,0 | 16,3 |
| | | | | | | | | | | |
| Isän koulutusala | Lapsen koulutusala | | | | | | | | | |
| | Perusasteen koulutus | 0. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. |
| Perusasteen koulutus | 124,2 | 70,7 | 76,7 | 71,2 | 91,6 | 71,6 | 104,8 | 110,0 | 97,7 | 109,5 |
| 0 Yleissivistävä | 69,9 | 306,2 | 100,5 | 184,3 | 134,1 | 155,4 | 59,5 | 58,9 | 81,2 | 67,6 |
| 1 Kasvatustieteellinen ja opettajankoulutus | 27,4 | 152,8 | 441,6 | 243,2 | 101,3 | 204,5 | 69,7 | 66,3 | 109,4 | 71,8 |
| 2 Humanistinen ja taideala | 51,6 | 234,4 | 228,2 | 386,8 | 106,6 | 182,5 | 53,4 | 51,0 | 93,3 | 60,0 |
| 3 Kaupallinen ja yhteiskuntatieteellinen | 52,1 | 194,3 | 149,6 | 170,3 | 168,2 | 156,6 | 61,8 | 47,5 | 90,7 | 68,7 |
| 4 Luonnontieteellinen | 25,4 | 224,6 | 174,5 | 225,8 | 108,6 | 424,2 | 79,0 | 66,7 | 100,7 | 44,5 |
| 5 Tekniikan ala | 78,0 | 123,8 | 102,8 | 112,0 | 101,9 | 120,5 | 110,0 | 58,4 | 101,5 | 91,0 |
| 6 Maa- ja metsätalousala | 48,5 | 85,2 | 138,3 | 126,5 | 98,8 | 127,9 | 89,7 | 308,2 | 105,7 | 87,5 |
| 7 Terveys- ja sosiaaliala | 35,8 | 188,0 | 149,1 | 206,6 | 109,0 | 208,3 | 64,8 | 58,2 | 176,3 | 55,7 |
| 8 Palvelualat | 72,8 | 140,4 | 136,8 | 129,3 | 105,5 | 120,7 | 77,9 | 54,5 | 113,6 | 135,6 |
| 9 Muu tai tuntematon koulutusala | 102,7 | 339,0 | 244,3 | 161,7 | 65,0 | 0,0 | 82,2 | 83,8 | 120,5 | 0,0 |

Tekniikan ala ei ole tilastojen valossa voimakkaasti periytyvä koulutussuunta. Taulukko 2 summaa vanhempien vaikutuksen lapsen koulutusvalintaan. Tutkimus tehtiin 30-49-vuotiaille suomalaisille ja heidän vanhemmilleen, sillä tämä ikäryhmä on jo suurimmilta osin ennättänyt hankkia haluamansa tutkinnon. Toki korkeakoulututkintoja, erityisesti tohtorin tutkintoja suoritetaan tuon ikähaarukan jälkeenkin. Tekniikan alan periytyvyys on vuoden 2009 tutkimuksen perusteella ollut hyvin lähellä neutraaliarvoa 100. Korkeakoulutus sen sijaan on usein periytyvää. Etenkin äidin koulutusaste vaikuttaa siihen, hankkivatko lapset korkeakoulututkinnon vai eivät. [26] Tällä tarkoitetaan sitä, että kor-

keakoulutuksen hankkineiden ihmisten lapset hakeutuvat helpommin korkeakouluteuiksi. Koulutuksen periytyvyys lisää kommunikaatio-ongelmia tavallisessa työelämässä, varsinkin jos työntekijän omaan lähipiiriin tai työtiimiin kuuluu vain saman koulutustason omaavia ihmisiä. Suunnittelijoiden kohdalla tämä on erittäin yleistä. Kokoonpanosuunnittelua tehdessä olisi kuitenkin tärkeää olla tietoinen siitä, miten tuotannon puolella työskentele osapuoli työskentelee, jotta kokoonpanosuunnittelu on tarkoituksenmukaista.

Uuden korkeakoululainsäädännön [27] sekä korkeakoulutusta tarjoavien oppilaitosten profiloitumisen ansiosta opetusyhteistyö insinöörikoulutuksessa lisääntyy jatkuvasti. Koulutusyhteistyö eri tutkintotasojen kanssa on kuitenkin vieläkin olematonta. Koneen suunnittelijoiden koulutus keskittyy yliopistossa hyvin pitkälti suunnittelun teoreettiseen puoleen ja käytännön ymmärtäminen saattaa jäädä hyvinkin vähälle huomiolle. Opistoin sinöörit toimivat ennen välikappaleena diplomi-insinöörikoulutuksen ja ammatillisen koulutuksen välimaastossa. Ammattikorkeakoulutus syntyi 90-luvulla eurooppalaisen viitekehyksen ja Bolognan prosessin kehittyessä [28]. Bolognan prosessin avulla tutkinnot on haluttu määritellä kansainvälisesti tietyille tasoille, jotta opiskelijaliikkuvuutta saataisiin parannettua eri syklien välillä ja tutkinnot olisi helpompi tunnustaa kansainvälisesti.

Insinöörikoulutusta kehittäessä olisi siis huomioitava yhä paremmin tuleva työelämä. Vaikka tekniikan alan koulutus käyttää jo nyt hyväkseen paljon yritysyhteistyön mahdollisuuksia, olisi tarpeen tutkia myös muita vaihtoehtoja. Pakolliset harjoittelujaksot suoritettavien työtehtävien parissa antaisivat korkeakoulutuksen suorittaville tuleville insinööreille myös uusia näkökulmia esimerkiksi kokoonpanosuunnittelua tehdessään. Jos korkeakoulutus keskittyy vain teorian ymmärtämiseen eikä törmäytä opiskelijoita muiden kuin korkeakoulutettujen kanssa, opiskelijan ammattitaidon kehitys voi jäädä vajaaksi. Haasteita kuitenkin luo myös muuttuva työelämä. Koska insinööritö on muuttunut yhä tietotekniikkapainotteisemmaksi, opintoihin on lisättävä uusia teknologioita käsitteleviä kursseja ja perinteisiä menetelmiä joudutaan käymään läpi pintapuolisemmin. Kuitenkin valmistava teollisuus on usein hidas liikkeissään ja kaikissa yrityksissä ei ole vielä käytössä uusinta tekniikkaa. Insinöörikoulutuskin on siis tasapainoilua uuden ja vanhentuvan tekniikan välillä.

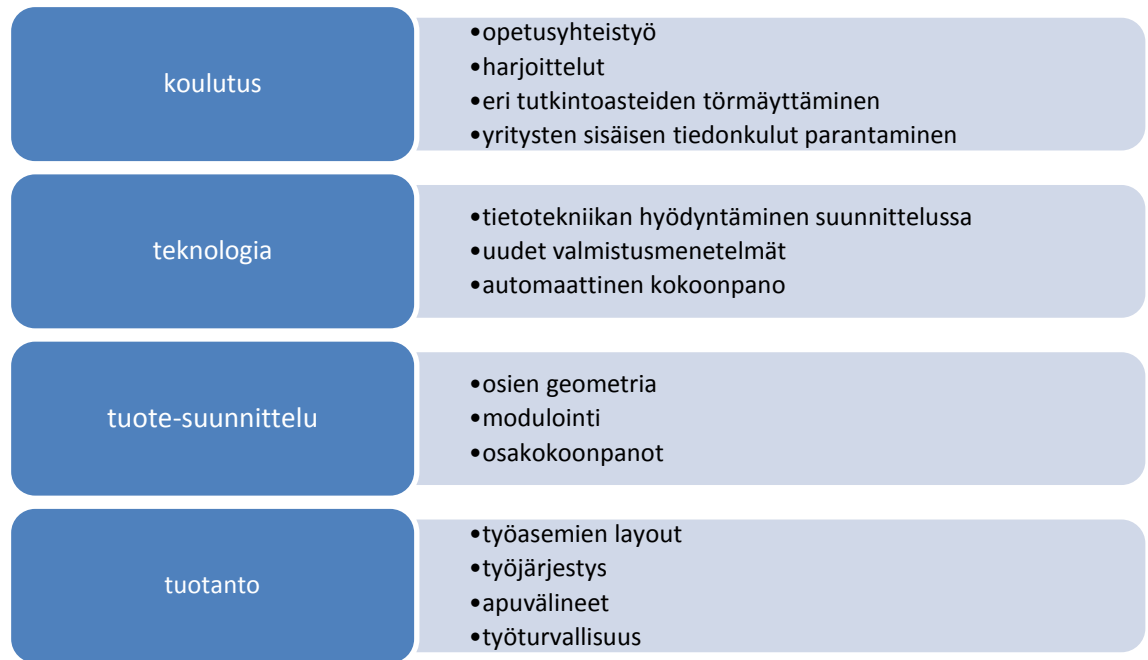
On kuitenkin muistettava, että koulutus ja tutkinto eivät välttämättä takaa osaamista. Osaaminen syntyy usein vasta työtehtäviä tekemällä ja teknisen korkeakoulutuksen läpikäyneet astuvat työmarkkinoille jopa 3-10 vuotta ammatillisen koulutuksen läpikäyneitä myöhemmin. Ammatillisen koulutuksen suorittaneilla on jo vuosia työkokemusta, ennen kuin yliopistotasaisen insinööritutkinnon suorittaneet valmistuvat. Työkokemuksen avulla kerrytetään erilaista osaamista, jota koulutuksesta harvoin voi saada. Tutkintojen tarkoituksena onkin usein luoda pohja oppimiselle tarjoamalla alaan liittyvä teoriaosaaminen.

6. YHTEENVETO

Kokoonpanosuunnittelu on monen eri toimijan yhteistyötä. Suunnittelijoiden on pystyttävä arvioimaan suunnitelmiaan myös kokoonpanoon osallistuvien työntekijöiden näkökulmasta. Kokoonpanosuunnittelussa on otettava huomioon monia tuotannon asettamia haasteita. Kokoonpanosuunnittelua opeteltaessa koneen perusgeometriaan liittyvät asiat nousevat ensimmäisinä esiin. Koneensuunnittelun ja tuotekehityksen opetus keskittyykin usein näihin seikkoihin. Vaikka koneensuunnittelija ei välttämättä ole vastuullinen osien tai kokonaisuuksien valmistuksesta tai kokoonpanosta, on suunnittelussa otettava nämä asiat huomioon alusta lähtien. Kun suunnittelu tehdään alusta lähtien kokoonpantavuus huomioon ottaen, säästytään mahdollisilta tuotteen tai sen tuotannon modifikaatiolta tulevaisuudessa. Tämä tekee koneen suunnittelu- ja tuotantoprosessista ennustettavamman ja siten tuo myös kustannussäästöjä.

Onnistuneeseen kokoonpanosuunnitteluun liittyy monia tekijöitä. Vaikka moni tekninen ja tuotteen geometriaan liittyvä seikka nousee usein esiin kokoonpanosuunnittelua tehdessä, on hyvä myös huomioida ihmiseen liittyvät tekijät. Insinöörikoulutusta kehittäessä on hyvä ottaa huomioon myös ammatillisesta koulutuksen löytyvä osaaminen. Korkeakoulutuksen kehittäminen vain korkeakoulutettujen toimesta luo kaksijakoisuutta ja saat- taa myöhemmin ilmetä ongelmina tulevaisuuden työpaikoilla. Teknologien kehittyessä ammatillinen koulutus koneenrakennuksen alalla muuttuu yhä teknisemmäksi ja suunnit- telijoiden ja kokoonpanotyöntekijöiden yhteistyö yhä läheisemmäksi. Kone ei välttämättä ole aina parempi työntekijä kuin ihminen. Automaattinen kokoonpano vaatii suuria in- vestointeja ja koneiden asetusajat saattavat olla hyvinkin pitkiä. Uusi teknologi vaatii käyttäjältä aina osaamista. Jos tuotannossa on tarpeen tehdä nopeita muutoksia, voi hy- vinkin olla nopeampaa kertoa asiasta työntekijälle, joka pystyy suorittamaan uuden toi- menpiteen välittömästi kuin ohjelmoida esimerkiksi kokoonpanorobottiin uusi toiminnal- lisuus.

Ennen kaikkea suunnittelijan pääprioriteetti pitäisi olla työntekijöiden turvallisuus. Jos ko- koonpanossa käytetään kokoonpanotyöntekijöitä, jotka manuaalisesti kokoavat tuotteita, on työntekijöiden turvallisuus huomioitava erityisen tarkasti. Myös ns. yhdistetty kokoon- pano eli kokoonpano, jossa on sekä manuaalisia että automaattisia vaiheita on suunnitel- tava etukäteen, jotta työntekijät eivät joudu vahingossa kokoonpanokoneen liikealueelle. Yhteistyöstä ei saisi aiheutua tarpeetonta haittaa tai epämukavuutta työntekijälle.



Kuva 6. Onnistuneen kokoonpanosuunnittelun osa-alueita

Insinöörikoulutuksen kehityksessä kokoonpanosuunnittelun opetuksen kehittäminen on vain pieni osa koko alan kehitystä. Se on erittäin tärkeää käytännön tuotantotyötä ajatellen. Onnistunut kokoonpanosuunnittelu on siis monien osien summa. Erityisesti tärkeää on juurikin kommunikaatio eri toimijoiden välillä. Kuva 6 summaa mielestäni onnistuneen kokoonpanosuunnittelun osa-alueita. Jokainen osa-alue vaatii vielä tarkempaa tarkastelua, mutta pääkohtien huomioiminen auttaa koneensuunnittelijaa parantamaan kokoonpanosuunnittelua, jotta kokoonpanotyöntekijöiden työ helpottuisi.

LÄHTEET

- [1] E. Eerola, Kokoonpanon tuottavuuden edellytysten kehittäminen, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015, 100 s.
- [2] A. Pere, Koneenpiirustus 1 & 2, [10. uud. p.]. ed. Kirpe, Espoo, 2009.
- [3] S. Grewal, Manufacturing Process Design and Costing: An Integrated Approach, 1st ed. Springer Verlag, London, 2011, 70 s.
- [4] S. Patalano, A. Rivière, Methods and Simulation Tools for Assembly Design and Manufacturing, Springer Paris, Paris, s. 129-133.
- [5] Y. Kristianto, L. Zhu, An integration of assembly planning by design into supply chain planning, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 69, Iss. 5, 2013, s. 1593-1604.
- [6] F.J. Riley, Assembly automation: a management handbook, 6. ja 7. pr. ed. Industrial Press, New York, NY, 1983.
- [7] E. Wang, Y.S. Kim, Feature-based assembly mating reasoning, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 18, Iss. 3, 1999, s. 187-202.
- [8] C. Wang, Web-based modular interface geometries with constraints in assembly models, Computers & Industrial Engineering, Vol. 56, Iss. 4, 2009, s. 1675-1686.
- [9] I. Lapinleimu, Tampereen teknillinen yliopisto. Tuotantotekniikan laitos, Ideaalitehdas: tehtaan suunnittelun teorian kiteytys, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere, 2000.
- [10] A.L. Sweet, Partitioning the production processes when assembling a bore and shaft, International Journal of Production Research, Vol. 47, Iss. 10, 2009, s. 2705-2720.
- [11] P.H. Andersson, luentokalvot
, TTE-1011 Tuotantotekniikan perusteet 2012, Saatavilla:
<https://moodle2.tut.fi/course/view.php?id=6780>.
- [12] S.Y. Nof, J. Chen, Assembly and Disassembly: An Overview and Framework for Cooperation Requirement Planning with Conflict Resolution, Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 37, Iss. 3, 2003, s. 307-320.
- [13] G. Boothroyd, P. Dewhurst, W.A. Knight, W.A. Knight, Product design for manufacture and assembly, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, Fla, 2011, .
- [14] J.D. Meadows, Geometric dimensioning and tolerancing: workbook and answer-book, Marcel Dekker, New York, 1997.

- [15] Seven ways to reduce hand injuries in manufacturing environments, Plant Engineering, CFE Media LLC, 2013, s. 40-41.
- [16] Työterveyslaitos Nostotyöt, Saatavilla: <https://www.ttl.fi/vesihuoltolaitosten-tyoturvallisuus-opas/riskien-tunnistus-ja-hallintakeinot/tapaturmavaaralliset-tyot/nostotyot/>.
- [17] M.M. Ayoub, A. Mital, Manual materials handling, 1989.
- [18] M.S. Sanders, E.J. McGormick, Human factors in engineering and design, 7th ed. McGraw-Hill, New York, NY, 1993, .
- [19] T. Deviprasad, T. Kesavadas, Virtual prototyping of assembly components using process modeling, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 22, Iss. 1, 2003, s. 16-27.
- [20] F. Zorriassatine, C. Wykes, R. Parkin, N. Gindy, A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217, Iss. 4, 2003, s. 513-530.
- [21] W. Gao, X. Shao, H. Liu, Virtual assembly planning and assembly-oriented quantitative evaluation of product assemblability, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 71, Iss. 1, 2014, s. 483-496.
- [22] S.K. Ong, Y. Pang, A.Y.C. Nee, Augmented Reality Aided Assembly Design and Planning, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 56, Iss. 1, 2007, s. 49-52.
- [23] S. Pellegrinelli, N. Pedrocchi, L.M. Tosatti, A. Fischer, T. Tolio, Multi-robot spot-welding cells for car-body assembly: Design and motion planning, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 44, 2017, s. 97-116.
- [24] M.W. Martin, R. Schinzinger, Ethics in engineering, 3rd ed. McGraw-Hill, New York (NY), 1996.
- [25] Opetushallitus, Eurooppalainen tutkintojen viitekehys: Osaamistasokuvaukset , Saatavilla: https://www.oph.fi/download/191224_Tutkintojen_viitekehysten_osaamistasokuvaukset_FI_SV_EN.pdf.
- [26] P. Myrskylä, Koulutus perityy edelleen , Tilastokeskuksen Hyvinvointikatsaus, Vol. 2009, Iss. 1, 2009, https://www.stat.fi/artikkelit/2009/art_2009-03-16_002.html.
- [27] Laki yliopistolain muuttamisesta, 2017. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170940>.
- [28] Euroopan Komissio Bolognan prosessi ja eurooppalainen korkeakoulutusalue, http://ec.europa.eu/education/policy/higher-education/bologna-process_fi.